

ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE
16, RUE BONAPARTE - 75272 PARIS CEDEX 06
TÉL : 01 42 34 57 70 - FAX : 01 40 46 87 55
www.academie-medecine.fr

Un rapport exprime une prise de position officielle de l'Académie. L'Académie saisie dans sa séance du mardi 15 novembre 2016 a adopté le texte de ce rapport avec 60 voix pour, 1 voix contre, 4 abstentions.

De l'usage des Rayons X en radiologie (diagnostique et interventionnelle), à l'exclusion de la radiothérapie. Rapport et recommandations.

The use of X Rays in diagnostic and interventional imaging, excluding radiotherapy. Report and recommendations.

Jean DUBOUSSET (Rapporteur) * au nom d'un groupe de travail*

MOTS-CLES : RADIOLOGIE, IMAGERIE RADIOLOGIQUE DIAGNOSTIQUE ET INTERVENTIONNELLE, RAYONS X, RADIO-PROTECTION

KEY-WORDS (INDEX MEDICUS): RADIOLOGY, IMAGING, DIAGNOSTIC AND INTERVENTIONNAL RADIOLOGY, X RAYS, DOSE REDUCTION

L'auteur déclare ne pas avoir de lien d'intérêt en relation avec le contenu de cet article.

---

* Membre de l'Académie nationale de médecine.
** Membres du groupe de travail (initié en 2014) :
André AURENGO (ancien Président de la section de radioprotection du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France et de la Société française de radioprotection), Daniel BONTOUX, Emmanuel Alain CABANIS, Claude Henri CHOUARD, Jean DUBOUSSET (Président), Gérard MORVAN (Ancien président de la Société français de Radiologie), Francis BRUNELLE (Chef de pôle radiologie imagerie pédiatrique Hôpital Necker-Enfants Malades), Joël MENKES (in memoriam).

RÉSUMÉ

Dès leur découverte (W.C. Roentgen, 1895), les Rayons X font immédiatement progresser l'efficacité de la médecine. Aujourd'hui, l'imagerie médicale diagnostique connaît un développement majeur en devenant « interventionnelle », comme aide au geste chirurgical au bloc opératoire. Mais ces radiations « ionisantes », aussi les premières à traiter le cancer (A. Béclère vers 1900), comportent une dangerosité potentiellement dommageable, surtout chez les enfants et les adultes jeunes, les plus sensibles, comme les personnels médicaux et paramédicaux (accumulation des expositions). Le groupe de travail rappelle les conséquences des rayonnements ionisants. Invisibles, ils ne suscitent pas la méfiance. Or, la radioprotection s'impose car l'effet des doses d'exposition reçues tout au long de la vie est cumulatif. Les Directives et Recommandations internationales, européennes et nationales encadrent étroitement la radioprotection, en collaboration avec la Société Française de Radiologie (SFR) en diagnostic autant que pour les actes de radiologie interventionnelle (500.000/an en France). Préoccupée par les conditions de mise en œuvre de cette radioprotection, l'Académie nationale de Médecine a communiqué et invité plusieurs communications à sa tribune, depuis plus de 10 ans. En dépit de cela, chirurgien orthopédique infantile, nous observons des manquements fréquents aux recommandations officielles. Pourtant, une radioprotection insuffisante est source de complications potentielles pour les patients et les praticiens. La littérature internationale et nos Agences nationales démontrent que, pourtant, la moitié des complications (survenant autrefois en radiothérapie) surviennent aujourd'hui dans les suites d'actes de radiologie interventionnelle ou de diagnostic (dont le dentaire). Ceci nous a conduit à une bibliographie de 20 ans démontrant la réalité de la question et au rappel des indications des nouvelles techniques d'imagerie minimisant la dose délivrée de rayons X. Cela, en insistant sur celles n'utilisant pas de radiation ionisante (IRM, échographie, techniques optiques), avec leurs indications respectives. Des recommandations en résultent.

SUMMARY

The X-Ray discovery (W.C. Roentgen, 1895) offers an immediate progress to the medical efficiency. Today, the medical diagnostic imaging knows a considerable and constant growing when becoming "interventional", as a surgical help in the operating room. These "ionizing" radiations, simultaneously, are the first treatment for cancers (A. Béclère, 1900's). But their use in diagnostic presents a potential danger, in children and young

people who are the most sensible. The medical and paramedical members of the team are dangerously exposed, too, through the accumulative exposal. Our group reminds the consequences of the ionizing radiations. Invisible, they do not create the suspicion. Therefore, the radioprotection is mandatory because of the all-lifelong cumulative dose of exposal. Many Rules and obligations, international (WHO), European (EU), and national (Agencies, HAS, Ministry of health) with the close cooperation of Société Française de Radiologie (SFR) and Société Française de Radioprotection (SFRP) either in radiodiagnosis or in interventional (500.000 procedures each year in France). Closely concerned by the observance of this radioprotection, the ANM had given information and texts from more than 10 years. Alas, as a pediatric orthopedist surgeon, we observe that today half of the irradiation complications (in the past from radiotherapy) went from interventional radiological procedures (and dental exercise). We went to a 30 years bibliography about this question and to a memorandum about the new indications in modern imaging and its indications with minimization of the dose delivery. We insist on the non-ionizing radiations (MRI, echography, photonic techniques). Five guidelines, concluding the text are underlined..

INTRODUCTION: RADIOPROTECTION ET SANTE PUBLIQUE

Risques de l'utilisation des Rayons X en radiodiagnostic et radiologie interventionnelle. Instances officielles.

La **découverte des Rayons X (novembre 1895)** puis la présentation de la première « radiographie » de la main de son épouse Bertha, le 22 Décembre 1895 (Académie des Sciences de Wurzbourg) par le **Pr Wilhelm Roentgen** lui valent l'enthousiasme des chancelleries d'Occident et le premier prix Nobel de Physique (1901). Cette découverte médicale décisive du diagnostic mène le **Dr Antoine Béclère** (Tenon, années 1900), pionnier de la radiothérapie, à en résumer l'autre avancée, majeure : ***« les RX peuvent être dangereux mais aussi ils guérissent »*** (tableau de Chicotot d'une 1° radiothérapie d'un cancer du sein). Avec Pierre et Marie Curie (1° femme et deux fois Prix Nobel), l'autre domaine s'ouvre, celui du CEA et des Energies renouvelables, de l'arme nucléaire, de la radio-protection des centrales. La radio-physique et la médecine nucléaire exploitent les isotopes radioactifs contribuant au diagnostic des métastases cancéreuses (PET et PET-Scan). Les deux exercices (radiologie et radio physique) divergent. Ici, **seul est traité le domaine de l'irradiation dûe aux examens radio diagnostiques ou interventionnels**.

Règlements : En France (puissance nucléaire) depuis longtemps, les questions de radioprotections au cours des actes médicaux et chirurgicaux font partie des préoccupations et recommandations de deux services nationaux indépendants : **l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) et l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)** qui travaillent en étroite collaboration avec les autorités nationales et européennes et les sociétés d'imagerie. Des rapports annuels et recommandations ciblées aboutissent souvent à des décrets sur les questions médicales qui nous intéressent *(Annexe 2, références 5 à 13)*. Tout y est parfaitement défini en doses, types de rayonnement et localisation des examens. Il en va de même pour les mesures de protection et leur contrôle par les personnes responsables diplômées (Personnes Compétentes en Radioprotection, PCR) dans toute unité, qui réalisent les études de poste et l'évaluation de la dose efficace à laquelle sera soumis le travailleur pendant un an, l'évaluation des risques spécifiques à chaque salle d'examen, l'évaluation des doses individuelles, cela permettant d'alerter en cas de dose excessive. De plus, des médecins physiciens, attachés aux services d'imagerie, sont chargés de surveiller les doses optimales et les protocoles.

**A l'exclusion de la médecine nucléaire utilisant les isotopes radioactifs.*

Le progrès technique et des compétences : Sujet de ce travail, les machines et la technologie en radiodiagnostic et radiologie interventionnelle s'améliorent, justement en diminuant les doses de rayons nécessaires à leur obtention que pour la résolution anatomique des images traitées.

Des dérives quotidiennes en pratique médicale, chirurgicale, dentaire, voire vétérinaire potentiellement néfastes pour le patient, mais aussi pour le praticien. Cependant l'utilisation des radiations ionisantes peut comporter des dérives en pratique médicale, chirurgicale, dentaire, voire vétérinaire potentiellement néfastes pour le patient, mais aussi pour le praticien. Ces rayons X, invisibles, ne sont pas ressentis par le patient ni par le praticien à moins d'une exposition très prolongée et par effet en relation avec la dose. Il est rare que les effets néfastes des rayons X apparaissent immédiatement dans le territoire irradié. Ces effets surviennent en général de manière plus tardive (plusieurs années) sous forme d'une dégénérescence maligne d'un organe siégeant dans la zone irradiée, ou au sein du système hématopoïétique.

Bien que les opinions sur les effets à long terme des faibles doses de rayonnements soient controversées,: le risque augmente avec la dose reçue en raison de l'effet cumulatif des rayons qui, une fois absorbés, ne s'annulent jamais. (Mesures, doses et effets des rayonnements ionisants sont exposés dans **l'Annexe**.

I. RADIOPROTECTION ET RECOMMANDATIONS INSTITUTIONNELLES DE BONNES PRATIQUES

a) La Société française de Radiologie (SFR avec ses sociétés d'organes) et la Société Française de Radioprotection (SFRP), **la Haute Autorité de Santé (2014)** émettent des recommandations pour le suivi des patients en radiologie interventionnelle et actes radioguidés (10). Elles sont clairement exposées dans les Guides de Bonnes Pratiques pour les radiologues et dans l'ouvrage sur la radioprotection d'Y. Cordoliani (4). P.ex., ce 25.11.16, chaque radiologue reçoit ce mail *: « La formation initiale et continue à la radioprotection des patients, obligatoire pour les radiologues (…) suite à la directive Euratom (97/43), (…) ayant évolué depuis la* ***directive Euratom*** *2013/59 (décembre 2013) et sa transposition en droit français,la SFR et CERF vous proposent la formation suivante conforme (…) Objectifs pédagogiques : reconnaître les composants des risques inhérents aux rayonnements ionisants dans le domaine médical, appliquer la réglementation, mettre en œuvre de façon opérationnelle le principe de justification des expositions, De même,*

pour le principe d'optimisation de la radioprotection des patients. Analyser sa pratique professionnelle sous l'angle de la gestion des risques, de la justification des expositions et de l'optimisation des doses à délivrer pour améliorer la radioprotection des patients, Informer et impliquer le patient (…) co-acteur de sa sécurité ». **European Society of Radiology (ESR, Vienna) et Radiological Society of North America (RSNA, congrès annuel à Chicago, 50 000 membres)**, American Academy of Sciences, tous diffusent règles et recommandations semblables. **Depuis 10 ans, les industriels** de la radiologie développent une stratégie mondiale « **ALARA** » (« As Low As Reasonably Achievable », sur le modèle du risque nucléaire).

b) Les campagnes de dépistage du cancer, succédant à celles de la tuberculose pulmonaire (20°s.), se résument dans la mammographie, examen de référence dans le dépistage du cancer du sein, avec l'examen clinique, +/- l'échographie : les protocoles nationaux sont clairement établis. 4 radiographies à doses de 1,4 milligray chacunes, appareillage rigoureusement contrôlé tous les 6 mois. **Les enseignements obligatoires** des **chirurgiens et personnels proches** des radiations ionisantes à visée diagnostique ou thérapeutique, mis en place dans les CHU, sont bien réalisés et suivis. Tous renforcent la radioprotection du patient et du personnel susceptible d'être exposé. **Les Décrets** s'y rapportant (24 mars 2003 sur la radioprotection des travailleurs et des personnes (6), Arrêté du 24 octobre 2011 concernant les doses niveaux de référence diagnostique (8) ont été diffusés. Ils établissent les niveaux de références diagnostiques (NRD) en radiologie chez l'enfant et chez l'adulte. Deux évaluations dosimétriques annuelles, pour deux examens couramment effectués dans tel service de radiologie sur le poste contrôlé, avec transmission du résultat à l'IRSN sont obligatoires. **L'Académie Nationale de Médecine**, enfin, s'est préoccupée, à plusieurs reprises et depuis longtemps, de ces questions (*Annexe 3*).

II. ETAT PRESENT DES PRATIQUES DE RADIOPROTECTION ET COMPORTEMENTS INDIVIDUELS

a) Malgré ce dispositif de radioprotection, technique et règlementaire, force est de constater que, **sur le terrain pédiatrique diagnostique et interventionnel adulte, les mesures de protection individuelle des professionnels sont rarement appliquées totalement** aussi bien pour les actes a visée diagnostique que pour ceux de radiologie

interventionnelle, malgré les rappels des Autorités de Sûreté Nucléaires (ASN et IRSN) et de la médecine du Travail. On n'atteint pas un changement véritable du comportement des acteurs. Ainsi ***nous est-il apparu pleinement justifié que l'Académie Nationale de Médecine prenne position***. Malgré ces recommandations, enseignements obligatoires appelant le personnel soignant à la plus grande vigilance dans l'utilisation des Rayons X, de nombreux manquements surviennent :

-Oubli *du port de lunettes et du cache thyroïde*, en plus du classique tablier de plomb protecteur de gonades, pour les orthopédistes qui utilisent de plus en plus la fluoroscopie per opératoire et ne se protègent pas suffisamment ;

-Oubli *du port obligatoire des dosimètres individuels* pour les personnels médicaux, paramédicaux et hospitaliers en service de radiologie ou en salle d'opération. Il faut pourtant souligner l'effort considérable des services techniques hospitaliers pour l'isolement et la protection des personnels, p.ex. par logiciel de monitorage des doses en temps réel, dont l'usage amène une économie de dose de 40% chez les praticiens.

b) Une utilisation des rayons X à visée diagnostique insuffisamment contrôlée par:

-Prescription d'examens systématiques inutiles et couteux pour la CNAM,

-Choix de « belles images » (scanner RX pour imagerie reconstruite 3D à partir de l'imagerie en coupes 2D, du squelette du tronc ou du bassin, sans intérêt autre qu'iconographique pour le patient et le médecin,

-Visions radioscopiques peropératoires trop répétées et abusives (ex. : chirurgie de la hanche ou du rachis sans mesures de doses délivrées et sans prises de conscience du médecin ou du chirurgien), en dépit du progrès numérique (« gel d'écran »),

-Indications et réalisations excessives de scans RX du pelvis chez l'enfant pour un diagnostic d'appendicite, en l'absence d'information suffisante donnée par l'échographie,

-Absence fréquente d'indication de la dose reçue dans les compte- rendus radiologiques.

c) Des accidents survenus chez les patients et les praticiens (rapport le plus récent de l'ASN pour 2014 et 2015 (13) **:**

-500 accidents/an environ, de degré ont été recensés en 2014, dont un peu plus de 50% en dehors de services de radiothérapie, p.ex. 4 accidents de niveau 2 et 117 de niveau 1, sur l'échelle ASN-SFRD des actes médicaux diagnostiques ou interventionnels ;

-À titre d'exemples, *accidents de nécrose pariétale thoracique après cardiologie interventionnelle et, plus graves,*

-*Tumeurs cérébrales mortelles chez des praticiens cardiologues interventionnels* ;

Dans la Lettre de l'Autorité de Sûreté Nucléaire n°48 du 25 janvier 2016, son président Pierre Franck CHEVET(14) rappelle que les actes **radio-interventionnels « explosent » à > 500.000 par an** ; conformément à ce qui existe dans les services de radiothérapie dotés de médecins radio-physiciens, il propose qu'il en soit de même pour les services de radiologie interventionnelle pour mieux contrôler les doses délivrées ; il souligne, de plus, la nécessité de nouvelles recommandations en niveaux de références diagnostiques (NRD) pour l'imagerie médicale.

Telles sont les raisons qui nous incitent à rapporter ici les données de la littérature sur les effets délétères sur la santé de cette imagerie RX trop, ou trop mal utilisée, de manière excessive, voire abusive**.**

III. BIBLIOGRAPHIE (30 ANS DE RECUL) SUR L'IRRADIATION DIAGNOSTIQUE DES PATIENTS

A. Cancers chez les patients ayant subi des radiographies multiples et répétées

a) Une étude canadienne de 1996 montre que pour une dose moyenne au sein de 890m Gy (22,) le risque relatif (RR) de développer un cancer du sein, par rapport à la population normale = 2,7, confirmé par d'autres auteurs en 2000 (22, 23, 24, 25) .

b) L'incidence de Cancers (sein et endomètre) est multipliée par 5 pour les adolescentes traitées pour scoliose 25 ans auparavant (avec une moyenne de 16 radiographies par dossier) dans une étude danoise de 2016 (26). Ces travaux ont abouti à la recommandation de faire ces clichés selon une incidence postéro–antérieure plutôt que l'inverse, de façon à moins exposer la glande mammaire. Les nouveaux systèmes, hélas insuffisamment répandus (EOS)(15), permettent **une réduction de dose d'un facteur 6 à 40 par rapport aux radiographies conventionnelles.** Le suivi complet d'une scoliose peut donc être effectué pour l'équivalent d'une seule radiographie conventionnelle. Une fois le diagnostic précisé sur la radiographie initiale, la meilleure protection est de suivre cette scoliose à l'aide de moyens non irradiant comme le scoliomètre, ou des systèmes de topographie de surface (27), un contrôle par rayons X n'étant effectué que si l'on constate un changement significatif de la topographie de surface.

c) L'Incidence des cancers à l'âge adulte serait augmentée chez les enfants ou les adolescents ayant subi des scanners abdominaux ou thoraciques selon une étude

australienne de 2013 portant sur 680.000 sujets(28) avec un risque d'autant plus important que l'enfant était plus jeune (p = 0,01).

d) le RR des leucémies : dans les années 2007/2009 (29) le risque était 3,18 fois moins élevé chez ceux ayant reçu moins de 5mGy et ceux ayant reçu plus de 30 mGy .

e) Certaines populations ont une radiosensibilité particulière liée à des **troubles de la réparation de l'ADN** (30,31). A l'évidence, le risque lié aux examens d'imagerie doit être mis en balance avec les risques de la maladie elle-même (p.ex. la mucoviscidose) et l'utilisation de techniques non irradiantes (IRM, échographie) doit être systématiquement privilégiée si possible.

f) Il en est de même pour la **période ante et périnatale**, y compris pour les interventions chirurgicales périnatales (intra-utérine, ou juste après la naissance) évitant une mort certaine en cas d'abstention. En néonatologie et chez les prématurés il est maintenant exceptionnel qu'un scanner X soit réclamé. L'échographie et l'IRM ont là toute leur place, comme il est recommandé par toutes les instances médicales et institutionnelles (32)

B. Incidence des lésions cutanées sur la zone irradiée

C'est surtout lors des actes de radiologie interventionnelle que le patient risque des lésions locales de la zone irradiée. Ces données sont développées, y compris les facteurs de risque, dans une circulaire de l'HAS (10), selon la dose délivrée à la peau en une seule fois. Localement, les lésions cutanées sur la zone irradiée se présentent sous forme d'un petit érythème. La dose érythème a été fixée à 5,5mSv et donc la DMA (dose maximale admissible = dose érythème divisée par 10) est la dose limite annuelle des travailleurs pour éviter l'apparition d'effets déterministes cutanés. Dans d'autres cas, on n'observe rien sur le moment, puis survient une dépilation, puis une atrophie du derme, des télangiectasies, voire une progression vers une nécrose plus sévère et plus ou moins profonde. Cela peut être le cas en cardiologie interventionnelle quand **la pose d'un stent ou d'une valve** se révèle plus difficile qu'habituellement et impose la multiplication des expositions aux RX et donc la durée cumulative. Cela est bien entendu valable pour n'importe quel acte de radiologie interventionnelle, quel que soit le niveau anatomique.

IV. IRRADIATION DIAGNOSTIQUE CHEZ LE PERSONNEL SOIGNANT

a) La liste des procédures à risque, identifiée en radiologie interventionnelle, est de plus en plus longue et complexe, au nombre de 500.000/an en France (14). Elles sont encadrées par des directives réglementaires bien établies : Directive Européenne EURATOM 97/43 (5), Code du travail – Art R4451-1 à R4451-144, liste constamment mise à jour par les équipes intéressées ; de même, les niveaux des doses sont systématiquement enregistrés, comme par exemple cela se fait actuellement pour la neuroradiologie interventionnelle dans les équipes de Bicêtre, de Necker-Enfants Malades et de toute l'Europe. Il est hautement souhaitable que cette pratique soit adoptée par toutes les équipes de radiologie interventionnelle dans notre pays. P.ex., pour les **cardiologues interventionnels**, travailleurs de catégorie A, les doses limites d'exposition annuelle sont : corps entier 20 mSv/an, cristallin 150 mSv/an pour l'adulte, mais seulement 50 mSv pour le jeune de 16 à 18 ans (probablement abaissée dans un futur proche par une nouvelle recommandation de l'ASN). Pour les extrémités 500 mSv/an, ramenées à 150 mSv pour les jeunes.

b) Des lésions fréquentes des cristallins sont observées avec nette augmentation de la fréquence des cataractes précoces dans cette population (34), les praticiens interventionnels ayant 3 fois plus de risques d'opacification du cristallin (47% d'atteintes du cristallin vs. 12%, $p < 0.05$), dont 50% d'atteinte bilatérale. Il a été estimé récemment(41) *(Congrès de radiologie Vienne 2016)* que pour quatre séances interventionnelles par jour provoquaient des doses cumulées, après 1 an, atteignaient de 10 à 450 mSv pour le cou, de 10 à 550 mSv pour l'œil et de 30 à 640 mSv pour les mains, c'est à dire bien au -delà des doses admises. Les protections du cristallin sont utilisées de manière inégale en fonction des Centres, et dans 43% des cas seulement. Depuis décembre 2013, L'IRSN (10) recommande le port systématique de **dosimètre cristallin** afin de mieux monitorer les doses reçues. Rappelons-nous la fréquence des radiodermites induites *par l'utilisation non protégée et excessive des appareils de radioscopie pulmonaire du siècle dernier* et le nombre d'amputations des doigts qu'elles ont entrainés.

c) Des cancers radio- induits graves et inquiétants (36, 37) sont les cancers thyroïdiens radio-induits (37), observés chez des chirurgiens orthopédistes spécialistes de la colonne,

utilisant de manière excessive les contrôles radiologiques peropératoires. On sait que, chez l'enfant, une irradiation cumulée de 50 à 100mSv provoque le risque certain de cancer radio-induit. Chez l'adulte, la réalité de la dégénérescence maligne est plus discutée, mais on évoque le risque d' une dose cumulée de 200 mSv. Cancers cérébraux (37) : une exposition supérieure à 1 Sv aux rayons X est un facteur de risque, établi, de développer un cancer du système nerveux (cela correspond à 10.000 clichés thoraciques, mais à seulement 63 angioplasties coronaires). Dans cette étude réalisée sur **424 praticiens interventionnels, 31 cas ont été rapportés dont 23 cardiologues interventionnels, 6 rythmologues et 5 radiologues.** 85% des cancers cérébraux constatés chez les praticiens interventionnels étaient situés dans **l'hémisphère gauche** du cerveau, le côté gauche du praticien étant le plus exposé aux rayonnements. 55% d'entre eux étaient des glioblastomes multiples (3 cas observés chez nous en France), 7% des astrocytomes et 16% des méningiomes.

d) Les systèmes de protection, essentiellement pour médecins interventionnels (8, 11, 38, 39, 40), sont bien définis. Outre les mesures de *radioprotection individuelle*, au sein desquelles le dosimètre apparent est incontournable pour mesurer les doses reçues, outre les caches protecteurs thyroïdiens, les lunettes plombées protectrices des cristallins, les tabliers de plomb protecteur du corps et des gonades, et même des gants plombés, sont peu fonctionnels, donc peu utilisés. Divers systèmes ou protocoles ont été inventés, proposés ou développés : cabines de radioprotection construites spécialement pour extraire les stimulateurs cardiaques implantés, télémanipulateurs de cathéters permettant, à distance des sources de rayons X, de manipuler les cathéters, de les amener au niveau des lésions cardiaques, cérébrales ou autres, pour traiter et d'effectuer les actes nécessaires sous contrôle d'écran, l'opérateur restant à distance du champ d'irradiation. N'est t'il pas navrant de constater en 2016 que, malgré les rappels effectués par l'ASN et la Médecine du travail à l'attention de personnels médicaux pratiquant la radiologie interventionnelle, du dépassement constaté des doses maximales annuelle autorisées (48 mSv au lieu des 20 mSv maximum admis), aucun changement de comportement ne soit intervenu**.**

V. IMAGERIES RADIOLOGIQUES « BASSE DOSE » REDUISANT LA DOSE DE RX, OU LA SUPPRIMANT

a) Nouvelles technologies RX, scanner et radiographie numérisée) réduisant la dose délivrée. Aux cardiologues (à cause du succès de la coronarographie virtuelle chez

l'adulte, aux USA) et pédiatres (à cause du succès du scanner RX abdominal pré-opératoire chez l'enfant suspect d'appendicite) **nord-américains, les premiers à tirer la sonnette d'alarme sur les doses excessives de RX reçues par les patients**, revient le mérite d'avoir « tiré la sonnette d'alarme » chez les constructeurs (années 2000). Les industriels des appareils de radiographie ou scanners X recherchent, désormais, une baisse de l'irradiation par optimisation manuelle ou automatique des diaphragmes (réduction du volume et surface d'irradiation), des filtres, des grilles anti-diffusion. L'accélération de la rotation des tubes des nouveaux scanners X s'accompagne de modulation automatique d'intensité et d'algorithmes de reconstruction itérative réduisent la dose absorbée de manière très importante (31, 9, 10). En radiographie standard, les logiciels réduisent la dose de 10 fois, comme en radiologie vasculaire (numérisation et suppression de la grille). Ce double progrès, technologique et informatique est un succès. Ils contribuent à diminuer, voire remplacer les rayons X, notamment dans l'étude des tissus mous mal étudiés par ces rayons, pour éviter leurs effets iatrogènes.

b) Système EOS. A partir de la chambre à fils de Georges CHARPAK (Prix Nobel de Physique 1992) et d'algorithmes de reconstruction (Arts et Métiers de Paris), un système de radiographie du corps entier en position debout à très basse dose a vu le jour (15). Ce système EOS fournit des clichés du squelette entier de face et profil simultanés d'excellente qualité, nécessitant de 6 à 9 fois moins de rayons que les clichés conventionnels, voire de 30 à 40 fois moins avec la dernière logicielle « microdose », au prix d'une légère perte en définition, parfaitement acceptable dans la plupart des cas. Grâce à ce système, la quantité de rayons administrée pour le suivi complet d'une scoliose correspond à celle autrefois nécessaire à l'obtention d'une seule radiographie !

Par ailleurs, à partir de ces clichés de face et de profil, il est possible d'obtenir des modélisations 3D du squelette, comparables à celles obtenues par scanner X, mais avec une irradiation infiniment moindre (860 fois moins et en position debout, chose impossible en scanner RX, ce qui permet d'évaluer les effets de la gravité sur le système ostéo-articulaire. La durée du balayage (10 à 20 secondes pour le corps entier de l'adulte, de la tête aux pieds) nécessite l'immobilité du sujet, facteur limitant chez le jeune enfant. L'expansion d'EOS se produit en France et dans le monde entier, parfois sous la forme d'un partenariat public /privé, véritable mutualisation des moyens pour le bénéfice des patients et des administrations sanitaires.

e) La mesure de la densité osseuse par Rayons X (absorptiométrie biphotonique) est également facilement obtenue avec l'appareil EOS imaging, diminuant nettement la dose de rayonnement X, utilisé à double énergie.
e) Il faut rendre hommage aussi aux **Chirurgiens-dentistes** qui remplacent le scanner RX ou les trop nombreux clichés « panoramiques dentaires » par des clichés ciblés mono-dentaire numérisés grâce à la technique du « cone beam » c'est-à-dire du faisceau de rayonnement X ciblé permettant d'ailleurs des reconstructions 3D avec une nette économie de rayons X .

- Systèmes et appareillages sans rayons X : ultrasons, IRM, photons (lumière) et traitement numérique de l'image.

a) l'Echographie (7, 8, 17) a connu, au fil des années, des améliorations techniques considérables : sondes sectorielles ou linéaires de haute fréquence, différents systèmes Doppler, imagerie harmonique, élastographie (42), examen dynamique… le tout augmentant de façon spectaculaire la qualité et le caractère informatif des images. Le caractère non invasif et la facilité d'utilisation de l'échographie la fait préférer comme examen de première intention dans un grand nombre d'indications, en particulier chez l'enfant, depuis la période anténatale jusqu'à l'âge adulte, pour tous les organes et les éléments anatomiques accessibles aux ultrasons (qui ne franchissent ni la barrière osseuse ni l'air). L'examen et son interprétation sont « opérateur dépendants », comme la quasi-totalité des actes médicaux.
b) L'Imagerie par résonance magnétique, IRM (5, 7, 16, 17). L'apparition de l'IRM en France après la découverte du principe physique en 1944 **(Isaac RABI**, Prix Nobel de Physique 1945, puis Felix **BLOCH** et **Edward Mills PURCELL**, Prix Nobel de Physique en 1952) a été une révolution dans l'imagerie diagnostique aussi importante que la découverte des rayons X par Roentgen en son temps. Cette technique, non irradiante, est particulièrement performante pour l'étude des tissus mous et de la moelle osseuse. C'est une technique complexe, où l'image dépend de multiples facteurs (contrairement à l'imagerie RX), notamment des temps de relaxation T1 et T2. Une injection de chélates de gadolinium peut aider à apprécier la vascularisation d'une lésion. L'acquisition peut se faire en 2D ou, de plus en plus fréquemment, en 3D. L'amélioration constante des séquences en ont fait l'examen de référence pour de très nombreuses pathologies : traumatiques, infectieuses, tumorales, dégénératives, vasculaires etc. avec des protocoles

particuliers pour chaque région. P. ex. l'exploration du système nerveux central (encéphale et moelle épinière) a été complètement transformée par cette technologie comme l'a bien montré la séance commune ANM et Académie des Sciences « Imagerie de l'encéphale : de la cellule à l'organe » de 2009 (16), jusqu'à aboutir à l'imagerie fonctionnelle. Cette imagerie est en général pratiquée en décubitus, bien qu'il existe quelques machines permettant des acquisitions en position debout. De plus, une imagerie « dédiée » ostéo-articulaire, à petit tunnel, examine les articulations et segments de membre. Comme l'acquisition des images n'est pas instantanée il est nécessaire que le patient reste immobile pendant l'examen ce qui peut impliquer, en particulier chez l'enfant jeune, une sédation ou une prémédication. Les seules contre-indications sont liées au champ magnétique intense, déplaçant objets ferromagnétiques (clips, corps étrangers inclus) ou perturbant des implants électroniques (stimulateur cardiaque…). La distribution des IRM en France, longtemps limitée par les pouvoirs publics, reste largement insuffisante et il faut encourager toutes les initiatives de mutualisation entre établissements Public et Privé.

c) L'Imagerie de surface par capteurs optiques (27) Réalisée grâce par des prises de vues simultanées sous différentes incidences, elle permet, grâce à des traitement informatiques des données, d'obtenir des images des surfaces corporelles en 3D qui utilisables en lieu et place des radiographies pour suivre l'évolution d'une scoliose, les radiographies étant réservées au bilan initial et aux forts changements de la déformation de surface.

d) Le progrès mathématique et informatique du traitement post-acquisition des données (logiciels) acquises par toutes les techniques précédentes offre la **modélisation 3D** et **l'animation** des **organes** et **appareils**, de plus en plus précises et fiables (15, 41, 42). **Ce traitement informatique** et **différé de l'information acquise, par définition non invasive, patient** reparti chez lui ou dans son lit, intéresse particulièrement l'orthopédie, la neuro-chirurgie, l'ORL et autres spécialités pour se repérer dans l'espace et naviguer : guidage de l'intervention chirurgicale sur la tête, la colonne, les membres, le bassin, en cardiologie, en pathologie digestive, etc. L'appréciation numérique des volumes et des surfaces pathologiques est aussi précieuse pour les orthoprothésistes. Ces nouvelles données entrent dans l'arsenal diagnostique pour guider les décisions thérapeutiques.

e) La maitrise de ces techniques et de leurs indications respectives font du médecin «radiologue», général ou spécialisé dans un système, appareil ou organe anatomiques (système nerveux, appareil digestif, appareil de la locomotion ostéo-articulaire, appareil uro-génital de la femme ou de l'homme), **le mieux placé pour choisir l'examen le moins**

agressif et le plus apte à répondre à la question du clinicien en fonction de ses hypothèse diagnostiques. Ceci est déjà recommandé par l'HAS et les sociétés savantes de radiologie sous le terme de ***juste indication = indication partagée***. Rappelons que, dans ce foisonnement technologique, nos collègues nord-américains donnent le titre de « *Radiology* » (et non « *imaging* ») au journal radiologique le plus diffusé dans le monde médical.

VI. VI. DES ELEMENTS PRECEDENTS NAISSENT NOS RECOMMANDATIONS

« Devant le développement considérable des technologies d'imagerie médicale utilisant ou non les radiations ionisantes pour le diagnostic ou la thérapeutique, malgré les recommandations ré-itérées des Autorités (ASN, Sociétés savantes), devant l'inobservance fréquente 1. de ces recommandations et 2. des dérives observées, potentiellement dommageables pour les patients, en particulier **les enfants et les adultes jeunes**, les praticiens et le personnel soignant,

L'Académie Nationale de Médecine présente les Recommandations suivantes, complétant et renforçant celles déjà formulées dans le passé et confortées par des preuves récentes :

<u>1. La pertinence du type d'imagerie choisie en diagnostic,</u> doit résulter d'une concertation préalable entre praticien prescripteur et médecin radiologue (RCP) ; ce dernier choisit la technique la plus performante et la moins irradiante, compte tenu du plateau technique dont il dispose, en particulier chez l'enfant et l'adulte jeune ; dès les premiers âges de la vie, toute imagerie obligée de la tête ou du tronc impose le recours prioritaire aux techniques non irradiantes (Echographie, IRM) ;

<u>2. Outre l'Echographie, la diffusion plus large des équipements d'imagerie non ou peu irradiante (IRM, EOS,..) est hautement souhaitable, au besoin par la mutualisation public-privé de ces équipements</u> techniques coûteux, pour en accélérer significativement l'accessibilité de tous les patients).

<u>3. L'enregistrement automatique et cumulé des doses reçues par le patient, tout au long de sa vie, au niveau du tronc et des racines des membres</u> (au mieux sur puce de la Carte Vitale, modèle du dossier pharmaceutique utilisé dans notre pays) même si le dossier personnel d'irradiation est désormais imposé ;

4. Pour le personnel soignant, **il est indispensable d'obtenir un dosimètre individuel cumulatif non ferromagnétique** (aux réserves habituelles de l'anonymisation) ; le contrôle des mesures de radioprotection personnelles des professionnels médicaux et paramédicaux doit être systématisé, obligatoire, contraignant et plus rigoureux qu'actuellement, comme le sont les mesures de protection des locaux ;

5. l'enseignement de la radioprotection doit être renforcé, **non seulement pour les professionnels de santé, mais aussi pour le grand public, sans inquiéter** celui-ci, mais **en le responsabilisant** dans ses demandes ; un changement profond des mentalités en ce qui concerne la radioprotection des patients et des soignants est indispensable et tout doit être fait pour obtenir une adhésion volontaire et acceptée des uns et des autres. »

Personnalités Auditionnées :

Jean Paul TILLEMENT (*expert pour l'institution du « dossier Pharmaceutique du patient)*, Jean Pierre PRUVO *(Président de la société française de radiologie)*, Gabriel KALIFA *(radiologue pédiatre expert en radioprotection)*, Hubert DUCOU LE POINTE, *(radiologue pédiatre expert en radioprotection)*, Philippe BENCTEUX, Eric DURAND *(cardiologues interventionnels)*, Guillaume SALIOU *(neuroradiologue interventionnel).*

ANNEXES

ANNEXE 1

a)- **Les mesures des rayonnements Ionisants, rayons X, en particulier en Radiologie**, sont parfaitement connues et intégrées chez l'adulte et l'‘enfant (1). **En radiologie**, la dose reçue par le patient est la somme de la dose en surface et de la dose en profondeur. La dose en surface peut être mesurée par un dosimètre posé sur la peau. La dose en profondeur n'est pas mesurable directement, mais peut être calculée par des méthodes approximatives. **La mesure de la dose délivrée à l'entrée** du patient (De) est en **Gray** ou plutôt ses décimales (milli-gray ou **mGy**).Par exemple pour un enfant de 1 an la dose recommandée par les Sociétés Savantes pour les NRD (Niveaux de Référence Diagnostique) pour un cliché du bassin est de 0,2 mGy et de 5,5 mGy à 5 ans. Mais le calcul de la **dose réellement absorbée** est plus complexe en fonction de la surface irradiée en cm^2 et du facteur de rétro-diffusion. **Pour ce qui concerne le scanner à Rayons X** les NRD ont été publiées pour l'adulte mais pas encore pour l'enfant. L'affichage des index

absorbés a été rendu obligatoire par la commission internationale. Ces mesures se basent sur des normes établies sur des fantômes de type adulte et sont seulement en cours de l'être pour les enfants L**a mesure de la dose efficace, elle, se fait en Sievert (Sv et ses décimales mSv)**. Pour la radiographie classique, on utilise le produit de la dose en surface par l'aire sur laquelle elle est délivrée. On obtient ainsi le "Produit Dose x Surface" ou PDS, exprimé en Gy/cm2. Des coefficients dépendant de la zone explorée et de la tension du tube à RX permettent de passer du PDS à la dose efficace avec une bonne approximation. Pour le scanner RX, on utilise un "*index de dose scanner*" ou IDS, mesurable dans l'air ou sur un fantôme (aire sous le profil de dose de la coupe, divisée par l'épaisseur de la coupe). L'IDS permet de calculer le "Produit Dose Longueur" ou PDL, produit de l'IDS par l'épaisseur des coupes et par la charge (mAs) de l'examen. En multipliant le PDL par un coefficient dépendant de la dose explorée on obtient une bonne estimation de la dose efficace. P. ex. pour un scan RX céphalique il est de 2,5 mSv mais de 6,5 mSv pour un scan RX abdomino-pelvien. On sait qu'il existe une irradiation naturelle provenant de multiples sources, qui est estimée à 2,5 m Sv à Paris, alo, depuis l'apparition des rayons-X, à cette **irradiation naturelle s'est rajoutée une irradiation médicale** diagnostique de 1 mSv par **an qui peut atteindre 20 m Sv par an**. On risque donc d'arriver rapidement aux 100 mSv chez l'enfant ou les 200 mSv chez l'adulte, dont on connait les risques carcinologiques

b)- **Les effets de ces mêmes Rayons-X sont de 2 types** (2, 3,4) ; *les uns appelés déterministes (ou non stochastiques) sont précoces*, alors que les effets aléatoires (stochastiques) sont tardifs en particulier en ce qui concerne les risques de dégénérescence maligne des organes irradiés. Celle-ci se produit à coup sûr quand la dose dépasse un certain seuil, jamais au-dessous d'un autre seuil. Leur gravité augmente avec la dose absorbée et l'étendue de l'irradiation. Pour les expositions cutanées locales, on constate par exemple un érythème pour une dose de 5 à 6 Gy et une épidermite exsudative au-delà de 20 Gy. Après une exposition rapide de tout l'organisme, il existe des signes cliniques à partir d'environ 700 m Sv et une dose de 10.000 m Sv est mortelle. En ce qui concerne les irradiations in utero, on observe des malformations non héréditaires au-delà d'un seuil de 100 à 200 m Gy au fœtus, et une altération du QI qui diminue de 30 points par Gy à l'encéphale ; ***les autres, appelés effets aléatoires (stochastiques) sont tardifs***. Ils se produisent apparemment au hasard, avec une probabilité croissante avec la dose. Leur gravité tient aux caractéristiques du cancer, mais pas à la dose qui l'a provoqué. La radio-cancérogénèse dépend de facteurs de sensibilité individuelle qui mettent en jeu les défenses

de l'organisme contre les rayonnements ionisants, au niveau moléculaire, cellulaire, micro-tissulaire et de l'organisme entier. En dehors des cas de radiosensibilité pathologique (par exemple le syndrome ataxie-télangiectasie) on n'observe pas de cancer radio-induit de l'adulte pour des doses cumulées inférieures à 100 mSv. Mais le risque stochastique chez le fœtus est de 20 mSv. On classe les malformations héréditaires radio-induites parmi les risques stochastiques, mais elles n'ont jamais été observées dans l'espèce humaine.

ANNEXE 2

Les règlementations au sujet de la radioprotection et les recommandations Européennes, Nationales et Internationales sont très nombreuses et inlassablement actualisées par nos agences ASN et IRSN.

La directive Européenne 97/43 EURATOM (5) relative à la radioprotection des personnes exposées aux rayonnements ionisants à des fins médicales est devenue applicable en France depuis l'année 2000.Elle a été mise à jour par la SFR le 9 /11 /2011, et recommande de limiter la dose de rayonnement, de justifier que l'usage des rayons X dans le cas du patient concerné ne peut être remplacé par une technique non irradiante, d'optimiser l'examen au moindre coût d'irradiation, sans en diminuer sa valeur diagnostique . Elle s'est enrichie de décrets et d'arrêtés multiples assurant sa transposition au droit français..

Avis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire d'octobre 2014 à propos des dispositifs réglementaires de radioprotection applicables en radiologie médicale et dentaire (11).

Les dispositions règlementaires de radioprotection médicale et dentaire d'octobre 2015 *mises à jour de 04/02/2016 (12*) sont très explicites et claires visant :

. à réduire l'exposition des patients par la suppression des examens d'imagerie non justifiés

.à réduire l'exposition des patients par l'utilisation préférentielle des techniques non irradiantes (imagerie ultrasonore et imagerie par résonance magnétique);

. à améliorer les pratiques cliniques par la rationalisation des indications des examens d'imagerie ;à servir de référentiel pour les audits cliniques. Aucun acte exposant aux rayonnements ionisants ne peut être pratiqué sans un échange préalable d'information écrit entre le demandeur et le réalisateur de l'acte (article R. 1333-66 du Code de la santé publique(6)).Le médecin réalisateur de l'acte doit indiquer sur un compte rendu les informations au vu desquelles il a estimé l'acte justifié, les procédures et les opérations réalisées ainsi que toute information utile à l'estimation de la dose reçue par le patient. (Article R. 1333-66 du code de la Santé publique) selon les indications définies par l'arrêté

du 22 septembre 2006 relatif aux informations dosimétriques devant figurer dans un compte rendu d'acte utilisant les rayonnements ionisants.(Nature de l'appareil, Marque, date, et dose reçue en Gy/cm²).

***Il en est de même pour les actes de radio interventionnelle** dans les Guides de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, dans le domaine de la radiologie et scanographie et de la radiologie interventionnelle, n° 11 juillet 2015, (13).*

Nombreux avis et excellents rapports de l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), comme par exemple l'exposition de la population française aux rayonnements ionisants liés aux actes de diagnostic médicaux ou plus spécifiquement chez les enfants, Ils fournissent des études parfaites.

ANNEXE 3

L'Académie Nationale de Médecine elle-même s'est préoccupée depuis longtemps de ces problèmes.

. Dès 2000 un premier communiqué sur la radioprotection, repris plus largement en 2001 par Guy BLAUDIN DE THE et Maurice TUBIANA (2), recommandait l'évaluation des risques des scanners X chez les sujets jeunes, de la répétition des examens radiologiques chez le prématurés et au cours des actes de radiologie interventionnelle. Ce communiqué préconisait de conserver sans modification la directive européenne concernant la dose limite à 100 mSv.

. De nombreuses interventions, communiqués ou rapports ont eu lieu sur ce sujet à la tribune de notre compagnie :

- M.TUBIANA, A. AURENGO en 2005 dans un rapport commun avec l(Académie des Sciences parlant de la relation dose/ effet estimaient les effets cancérogènes des rayonnements ionisants (3),
- J.DUBOUSSET, G. CHARPAK en 2005 avec l'introduction de l'appareil à basse dose EOS, montraient l'obtention d'un cliché simultané face et profil de l'ensemble du squelette en position debout moyennant des réductions de doses 8 à 30 par rapport aux clichés conventionnels , et permettant des reconstructions 3D surfaciques de ce squelette avec des doses 800 fois moindre que les reconstructions 3D obtenues par le Scanner X (15),
- E.A CABANIS en 2009 avec l'apologie de L'IRM dans l'imagerie de l'encéphale (16)
- En 2011,P. GUERETt avec « L'apport des méthodes d'imagerie non invasives, comparée à la coronarographie dans l'évaluation de la maladie coronaire » (17,)

- En 2013, le Rapport sur la pertinence des actes médicaux (R. MORNEX) (18) démontrait qu'un certain nombre actes d'imagerie médicale sont parfois effectués de manière systématique sans base clinique suffisante, ou dans un but purement médicolégal. Ces actes, souvent inutiles, sont potentiellement nocifs par l'irradiation qu'ils occasionnent et générateurs de dépenses indues pour l'Assurance Maladie et pour la société.

-En 2014, la communication de G. MORVAN : « L'imagerie médicale diagnostique est-elle iatrogène? » soulevait le même problème. (19)

-En 2015 E.A CABANIS rappelait le scanner RX dans la navigation endoscopique [20]

-En 2015 encore P ; MORNET rappelait à la tribune l'œuvre initiale de Gaston Contremoulins visionnaire de la radiologie(21).

REFERENCES

[1] AURENGO A., PETITCLERC T. et al , Biophysique 1 vol Lavoisier Medecine Sciences ed 2013 ;

[2] BLAUDIN DE THE G., TUBIANA M - Irradiation médicale, déchets, désinformation : un avis de l'Académie Nationale de Médecine, Bull.Acad.Natle. Med. 2001,185, n°9, 1671-1679.

[3] TUBIANA M., AURENGO A., et coll - La relation dose effet, l'estimation des effets cancérogènes des rayonnements ionisants ; Rapport commun de l'Académie des Sciences et de l'Académie Nationale de Médecine, Paris, Nucleon., 2005, EDP Sciences

[4] CORDOLIANI Y.,S., FOEHRENBACH H. - Radioprotection en milieu médical, principes et mise en pratique. 2014, 1 vol Elsevier Masson3èmeed.,. - Les enjeux de la radioprotection en imagerie médicale, Journal de radiologie, 2010, vol 91, N°11 ,1184/1185

[5] EURATOM, directive 97/43 du 30 juin 1997 remplaçant la directive 84/466

[6] Articles R 1333-11 et R 1333-66 du Code de la santé publique.

[7] Arrêté du 24 mars 2003 sur la radioprotection des travailleurs et des personnes

[8] Arrêté du 18 mai 2004 pour la formation obligatoire à la radioprotection des personnels

[9].Arrêté du 24 octobre 2011 relatif aux niveaux de références diagnostiques en radiologie

[10] Recommandations de l'HAS pour la Radio protection du 19 oct 2012, du 12 mars 2013, du 16 octobre 2014.

[11] Autorité de Sûreté Nucléaire, Dispositif règlementaire de radioprotection applicable en radiologie médicale et dentaire ; Oct 2014 et Juillet 2015.

[12] Guide de l'Autorité de Sûreté Nucléaire dans le domaine de la Radiologie et Scannographie et de la Radiologie interventionnelle, N° 11 juillet 2015.

[13] Avis et rapports annuels de l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) depuis 2007, mais en particulier les bilans de 2011 à 2014 et 2015 très bien détaillés et aisément consultables sur Internet.

[14] FRANCK CHEVET P., CHAUMET-RIFFAUD P., et coll - Autorité de Sûreté Nucléaire Rapports de 2014 et 2015 et lettre N° 48 de janvier 2016

[15] DUBOUSSET J., CHARPAK G.,. et coll. - Une nouvelle imagerie ostéo-articulaire basse dose en position debout; le système EOS. Bull Acad Natle Med., 2005, 189, 287-297.

[16] CABANIS E. A., et coll. - Imagerie de l'encéphale : de la cellule à l'organe , séance commune Acad des Sciences Acad Ntle Méd. Bull Acad Natle Med, 2009, 193, N° 4 , 837-847.
[17] GUERET P., - Apport des méthodes d'imagerie non invasives pour l'évaluation de la maladie coronaire. Bull Acad Natle Med., 2011, 195, n°4-5 1069-1089.
[18] MORNEX R., Pour la pertinence des actes médicaux, Bull.Acad.Natle. Med.,2013,197 n°4 et 5, 1033-1049.
[19] MORVAN G. - L'imagerie médicale diagnostique est-t-elle iatrogène ? Bull Acad Natle Med., 2014, n°4/5, 725-743.
[20] CABANIS E.A. *, Rodolphe Gombergh, Albert Castro, Iradj Gandjbakhch *, Marie-Thérèse Iba-Zizen, François Dubois *,
Navigation endoscopique et transparence corporelles par scanner à RX, une étape en imagerie in vivo, Bull. Acad. Natle Med., 2011, 195, n°6, 1385-1397, séance du 28 juin 2011 ;
[21] MORNET P., , Gaston Contremoulins,1869-1950, pionnier visionnaire de la radiologie, l'héritage oublié, Les éditions de l'AIHP, Paris, 2013, Par Emmanuel-Alain Cabanis, présentation d'ouvrage, Académie Nationale de médecine, séance du 13 octobre 2015 (sous presse).
[22] HOFFMANN D.A., LONSTEIN J. E., et coll - Breast cancer in women with scoliosis exposed to multiple X- Rays. Journ Cancer Inst, 1989, 81, 1307-1312.
[23] HOWE GR, J.McLAUGHLIN - Breast cancer mortality between 1950 and 1987, after exposure to fractional moderate doses of ionizing radiations. Radiology research, 1996, 145, 694-707.
[24] DOODY M.,M., LONSTEIN J.E., et coll. - Breast cancer incidence after diagnostic radiography findings from the US Scoliosis cohort study. Spine, 2000, 25, 2052-2063.
[25] RONCKERS M., LAND C.E., MILLER J.S., LONSTEIN J.E., DOODY M.M. - Cancer mortality among women frequently exposed to radiographic examinations for spinal disorders Radiat Res, 2010, 174(1), 83-90.
[26] SIMONY A .HANSEN E. et al , incidence of cancer in adolescent idiopathic scoliosis patients treated 25 years previously . Eur Spine J 2016 sept 3 5 (Epub ahead of print)
[27]LUCAS Y., TREUILLET S., ALBOUY B., et PICHAUD J.C. - Des systèmes de vision active pour le relevé anatomique 3D appliqué à la santé. J3eA, Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes, 2005,Volume 4,EDP open Hors-Série 3, 5.
[28]MATHEWS J,D., AV.FORSYTHE and all. - Cancer risk in 680000 people exposed to computed tomography scan in childhood or adolescence, data linkage study of 11 million Australians. BMJ, 2013, May 21, 346/360
[29] BRENNER D.J., and al. Cancer risks attributable to low dose of ionizing radiations, assessing what we really know. Proc Natl Acad Scienc USA, 2003, 100,13761-13766
[30] BRISSE H., CHATEIL J.F., SIRINELLI D., DUCOU LE POINTE H., LE DOSSEUR P. - Savoir- faire et radioprotection aspects pédiatriques, au nom de la Société Francophone d'Imagerie Pédiatrique et Prénatale (SFIPP) 22 fevrier 2013 p 47-54 ; (bibliographie) wwwsfrnet.org
[31] DUCOU LE POINTE H. - Ce que tout praticien doit savoir. Revue du Praticien Médecine générale, 2014, tome 28, N°927
[32] ETARD C., et coll - Optimisation en scannographie pédiatrique, Radio protection, 2010, vol 45, n°1, 31-42.
[33] BRENNER D.J., and al. Computed tomography, an increasing source of radiation exposure. N.engl.J.Med., 2007, Nov.29, 357(22), 2277-84

[34] DEHMER G., J. - Occupational hazards for interventional cardiologists. The journal for Catheterization and Cardiovascular Interventions, 2006, 68, issue 6, 974-976.
[35] DURAN A., et al. - RELID (Retrospective evaluation study of lens injuries and dose. Journal of American College of Cardiology, 2011, 57(14). E 1951
[36] BENNACER A.,M., SCHLUMBERGER et coll - Cancers thyroïdiens radio induits. Annales Endocrinologie, 2000, Vol 61, n°6, 113-118
[37] ROGUIN et al. - Brain and Neck Tumors among Physicians Performing Interventional Procedures: Eurointervention, 2012, jan7 (9) 1081-86
[38] BENCTEUX P., DURAND E. - Télé-manipulateur de cathéter en cardiologie interventionnelle, Communication Personnelle 2015
[39] PLOUX E. - Radioprotection en cardiologie interventionnelle, intérêt d'une cabine de protection. Thèse Doctorat en Médecine Bordeaux 20 Nov 2013 (Bibliographie).
[40] RIDLEY E. - Interventionnal radiology need accurate dose tracking, (March 6 2016) Vienna, Enterprise imaging at Vienna meeting Aunt Minnie.com
[41] AYACHE Nicholas et coll. - Le cœur numérique personnalisé. Bull Acad Natle Med., 2011,195 n°8 1855-1868.
[42] DUBOUSSET J., et coll. - Modélisation de la colonne vertébrale et du rachis. Bull Acad Natle Med., 2011, 195, n°8, 1831-1842.

Pour copie certifiée conforme
Le Secrétaire perpétuel

Professeur Daniel COUTURIER